Revista Internacional de
**Ingeniería**
**de Estructuras**

**Vol. 22, 4, 459-478 (2017)**

# DESCRIPTION OF THE STRUCTURAL BLOCKS WITH SEISMIC ISOLATION OF THE UNIVERSITY OF ARMED FORCES ESPE. SECOND PART

**Roberto Aguiar** [1,2]

[1]Profesor. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de Fuerzas Amadas ESPE. Av. Gral. Rumiñahui s/n, Valle de los Chillos. rraguiar@espe.edu.ec
[2]Carrera de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Received: July 2017. Accepted: September 2017

## ABSTRACT

When a structure is constructed with seismic isolator above columns of the first floor some problems may appear in the constitution of stands, because the non-isolated floor has small displacements in comparison to the upper floor that is on seismic isolators. The problem's solution is at the end of this article. Another interesting case is the way of constructing emergency stands that starts in a structure that isn't isolated and joins a structure with isolators, with this case the article ends.

With this preamble, it should be noted that scientific research centers and the graduate school of the armed force university "ESPE" will work in the near future in two structural blocks with seismic isolators and in two structural blocks with energy dissipators.

This paper is only about blocks with triple pendulum isolators of friction and constitute the second work in which the construction system is presented. In effect, in journal 2 of volume 21, published in June of 2016, the constructive system of this buildings was presented based on what they had at the time.

After Ecuador's earthquake of 2016, which affected the provinces of Manabí and Esmeraldas, it was evident that the philosophy of construction design must be changed. We should stop thinking that in the face of a strong earthquake the purpose of the structure is to save life; no, the purpose is that the structure is to be immediately occupational.

The public doesn't accept structural damage: for that we have to design with seismic isolators and/or energy dissipators. By doing this in this way, there is a great deal of constructive details that are necessary to divulge. The lived experiences should be assimilated for those who are going to design a building with isolators. This is the main reason why this article was written.

**Keywords:** Suspended stands. Structure with seismic isolator.

# DESCRIPCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE LOS BLOQUES ESTRUCTURALES CON AISLADORES SÍSMICOS DE LA UNIVERSIDAD DE FUERZAS ARMADAS ESPE. SEGUNDA PARTE

## RESUMEN

Cuando se construye una estructura con aisladores sísmicos sobre las columnas del primer piso surgen problemas con la construcción de las gradas, debido a que el piso no aislado tiene desplazamientos pequeños en comparación con las del piso superior que se halla sobre aisladores. La solución a este problema se presenta al final del artículo y otro caso más interesante es la forma constructiva de la grada de emergencia que inicia en una estructura que no está aislada y se une a una estructura con aisladores, con este caso finaliza el artículo.

Con este preámbulo, se debe indicar que los Centros de Investigación Científica y de Post Grado de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, funcionarán en un futuro cercano en 2 Bloques Estructurales con aisladores sísmicos y en 2 Bloques Estructurales con disipadores de energía. En este artículo se habla solamente de los Bloques con Aisladores de Triple Péndulo de Fricción y constituye el segundo trabajo en que se presenta el sistema constructivo. En efecto, en la Revista 2 del Volumen 21, publicado en junio de 2016, se presentó el sistema constructivo de estos edificios pero en base a lo que se tenía a esa fecha.

Luego del terremoto de Ecuador de 2016, que afectó a las Provincias de Manabí y Esmeraldas, quedó en evidencia que se debe cambiar la filosofía de diseño, se debe dejar de pensar que ante un terremoto severo el desempeño de la estructura es salvar vidas; no, el desempeño es que la estructura sea inmediatamente ocupacional. La población no acepta daño en la estructura y con razón por lo que se debe diseñar con aisladores sísmicos y/o con disipadores de energía. Pero al hacerlo de esta forma, existen una gran cantidad de detalles constructivos que es necesario divulgarlos para que las experiencias vividas sean asimiladas por quienes van a diseñar un edificio con aisladores; esta es la razón principal por la que se escribió este artículo.

**Palabras Claves:** Grada suspendida. Estructura con aisladores sísmicos.

## 1 INTRODUCCIÓN

En el terremoto de Ecuador, del 16 de abril de 2016, de magnitud de momento 7.8, quedó de manifiesto que la gente no espera ningún daño en las estructuras. Los propietarios de las edificaciones desconocen que la filosofía de diseño prescrita en la mayoría de normas sísmicas actuales es la de salvar vidas ante un terremoto; es decir se admite la posibilidad de que la estructura tenga daño pero en ningún caso que esta colapse.

Si se admite que la estructura se va a dañar, es lógico pensar que habrá daño en la mampostería. Pero la rotura de paredes, alarma a la ciudadanía por un lado y por otro lado es peligroso ya que cuando se rompe los bloques prensados o de ladrillo, explotan y se convierten en proyectiles que causan víctimas.

En Bahía de Caráquez, Manta y Portoviejo; estructuras que cumplieron con la filosofía de diseño fueron derrocadas después del terremoto del 16 de abril de 2016. Un ejemplo de ello son los dos edificios que se presentan en la figura 1, las fotografías muestran el estado en que quedaron después del terremoto y corresponden al Edificio Fragata, analizada con detalle en Aguiar (2017) y el Edificio Salango.






**a)**




**b)**

**Figura 1** Estructuras que tuvieron un desempeño de acuerdo a lo estipulado en las normativas sísmicas y que fueron derrocadas casi al año del terremoto del 16 de abril de 2016; a) Edificio Fragata; b) Edificio Salango.

Los dos edificios fueron de hormigón armado, de 10 pisos; la planta baja era el área de parqueaderos; la primera planta el área social y tenían una piscina y los ocho pisos superiores los apartamentos, cuyos propietarios en su mayor parte residen en Quito.

Las fotografías de la figura 1, muestran que tuvieron daño en la mampostería de las fachadas. En las fachadas que dan a la Avenida que da al brazo de mar (Río Chone) el daño fue entre leve y moderado (Fotografías de la

izquierda) mientras que en las fachadas posteriores el daño en mampostería fue entre moderado y extensivo (Fotografías de la derecha).

El mayor daño estructural, tuvieron en las columnas y muros del primer piso donde se encontraba las piscinas, que se puede catalogar entre leve y moderado. El edificio Fragata presentó daño localizado en un eje de vigas y el Edificio Salango tuvo daño en la losa de algunos pisos (La losa era alivianada armada en una dirección, el daño se dio en los alivianamientos).

Estos dos edificios cumplieron con la filosofía de diseño de salvar vidas pero fueron derrocados, con autorización de sus dueños. En la Provincia de Manabí existen muchos casos similares en los cuales las estructuras soportaron el terremoto y luego fueron derrocados.

Esta situación obliga a pensar que la filosofía de diseño debe ser que luego de un terremoto la estructura siga operativa o con daños leves en la mampostería y en lo posible sin ningún daño en los elementos estructurales. Esto se logra disminuyendo considerablemente la deriva de piso máxima permitida y trabajando con factores de reducción de las fuerzas sísmicas, $R$ bajos.

En la construcción tradicional, se logra el objetivo descrito en el párrafo anterior, construyendo con muros de corte con un espesor mínimo de 30 cm.

Otra opción es construir con aisladores sísmicos y disipadores de energía, como se hizo en varios bloques estructurales, destinados a los Centros de Investigación y de Post Grado, de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE. En varios artículos se ha indicado la forma de cálculo, como referencia solo se indican tres (Constantinou *et al.* 2016; Aguiar *et al.* 2016, 1,2).

Del sistema constructivo que es muy interesante solo se ha escrito un artículo y corresponde a la etapa inicial de construcción, cuando todavía no se colocaban los aisladores sísmicos (Aguiar y Pazmiño, 2016) por lo que amerita presentar esta publicación considerando que a julio de 2017, ya se están construyendo las paredes y colocando la piel del edificio (Vidrios en las Fachadas).

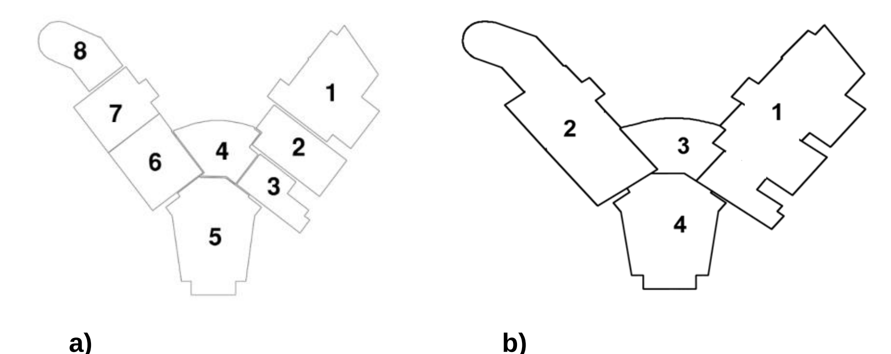
## 2 BLOQUE ESTRUCTURAL UNO CON AISLADORES

Los Centros de Investigación Científica y de Post Grados, de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, que actualmente funcionan en algunos edificios del Campus del Valle de los Chillos; en un futuro muy cercano, estarán en un solo lugar que se logró gracias a la construcción de 23338 metros cuadrados, en 8 Bloques Arquitectónicos, los que se indican en la figura 2 a. Como era de esperarse estas estructuras fueron construidas con tecnología de frontera y es así que los Bloques Arquitectónicos: 1, 2, 3, 6, 7 y 8. Tienen aisladores sísmicos y los Bloques 4 y 5 tienen disipadores de energía Shear Link.

Ahora bien desde el punto de vista estructural se tienen dos Bloques Estructurales con aisladores sísmicos ya que los Bloques 1, 2 y 3; trabajan en conjunto. Lo mismo sucede con los Bloques 6, 7 y 8. Por esto en la figura 2 b, se presentan los Bloques Estructurales; en éste artículo se indican algunos detalles constructivos de los dos primeros bloques estructurales, destacando que a futuro

en la redacción cuando se diga solo Bloque se hace referencia al Bloque Arquitectónico.

En el Bloque 1, los aisladores se encuentran sobre la cimentación y en los Bloques 2 y 3, se hallan sobre las columnas del primer piso, pero todos los aisladores se encuentran al mismo nivel y los tres Bloques Arquitectónicos pasan a ser el Bloque Estructural 1, ver figura 2 b y 3.




**a)** **b)**

**Figura 2** Descripción de las nuevas estructuras que darán cabida a los Centros de Investigación y de Post Grado de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE; a) Bloques Arquitectónicos; b) Bloques Estructurales.

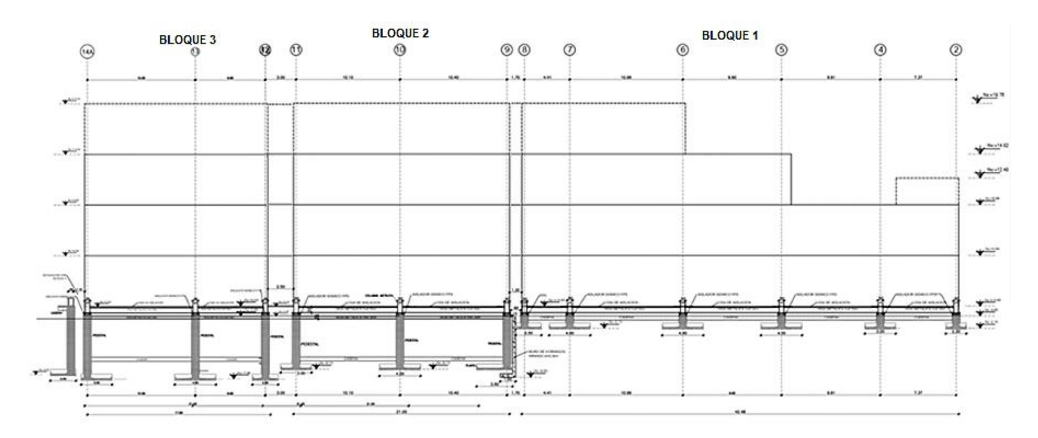



**Figura 3** Bloque Estructural 1 con aisladores sísmicos, contiene a los Bloques Arquitectónicos 1, 2 y 3.

## 2.1 Bloque Arquitectónico 1 con aisladores

En el Bloque Arquitectónico 1, funcionará el Centro de Investigaciones Científicas de Ciencias de la Tierra; aquí los aisladores sísmicos se colocaron sobre la cimentación, que dicho sea de paso son plintos cuadrados con una dimensión media de 4 m, y altura de 0.5 m; en la figura 4 a, se presenta una vista de parte del Bloque Arquitectónico 1, que es irregular en planta y elevación; en la figura 4 b, se observa que desde el plinto, sale un pedestal de hormigón armado de sección cuadrada de 1.20 m, de lado, sobre el cual se van a colocar los aisladores, los mismos que tienen unos pernos que van anclados al pedestal, por

la parte inferior y por la parte superior, quedan inmersos dentro de la placa de apoyo de las columnas de acero.

En la figura 4 c, aparecen dos columnas de acero sobre los aisladores sísmicos, también se aprecian las vigas que conforman la losa de aislación; en la figura 4 d, se presentan más vigas principales y secundarias de la losa de aislación que cumple varios objetivos, el más importante hacer que la superestructura se mueva, en lo posible como cuerpo rígido al moverse los aisladores; la losa de aislación sirve también como contrapeso para que no se levanten los aisladores, por el efecto $P - \Delta$.

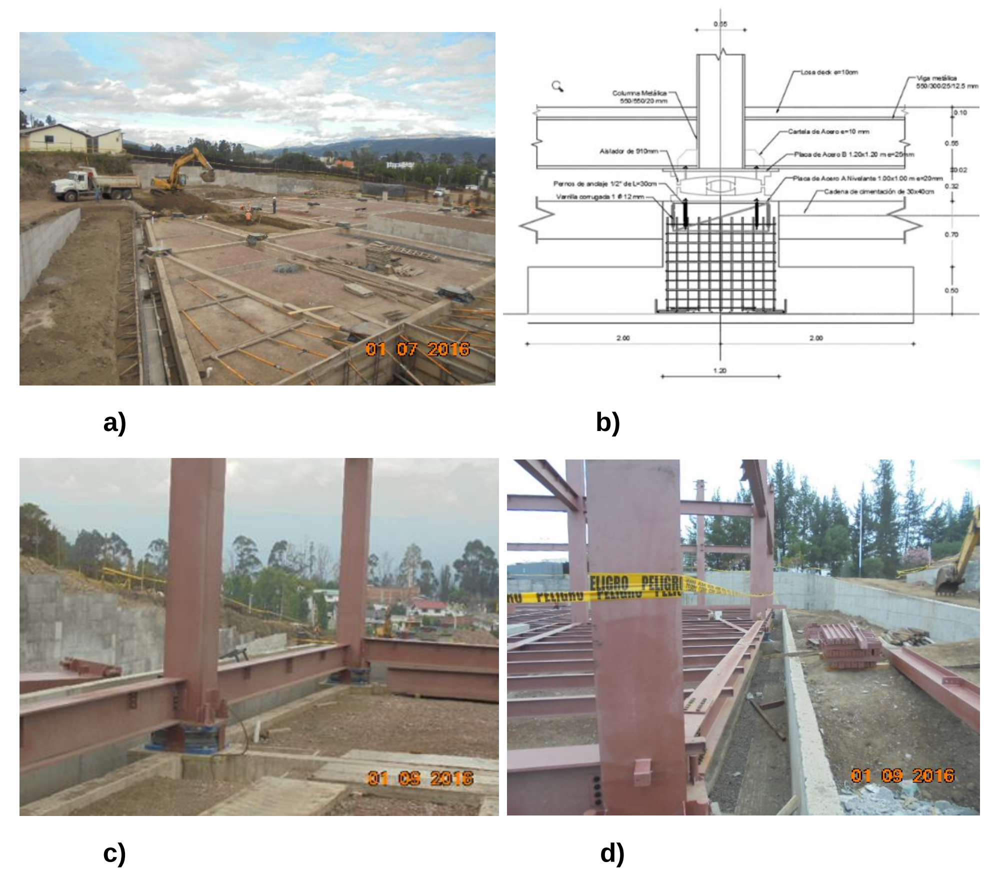



**Figura 4** Descripción de los aisladores del Bloque Arquitectónico 1; a) Vista de parte del Bloque con los aisladores de triple péndulo de fricción colocados sobre pedestales; b) Vista de un Plinto de cimentación, del que sale un pedestal sobre el que se asienta el aislador; c) Aislador instalado sobre pedestal de Hormigón Armado y vigas de la losa de aislación; d) Detalle de la zanja que existe alrededor del Bloque 1, para que los aisladores puedan moverse libremente.

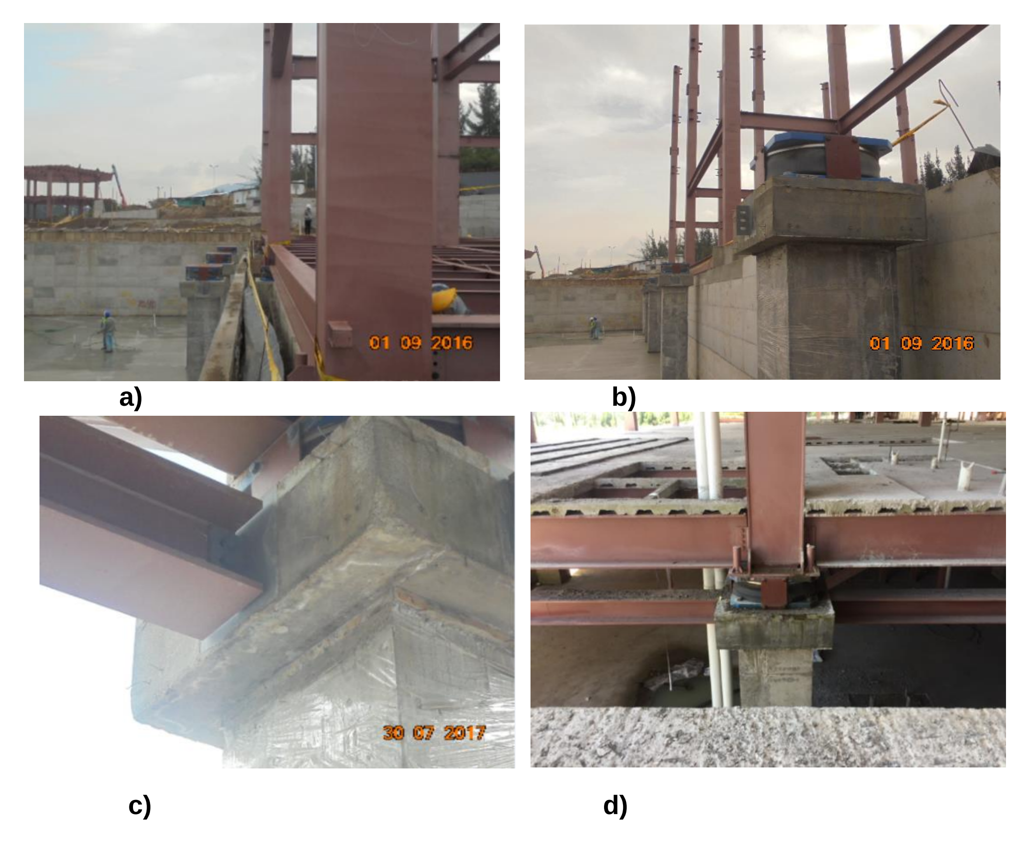
En la figura 5 a, se observa que las cadenas de amarre de las columnas se construyeron en dos etapas, en la primera se colocó el hormigón en la parte central (no en los extremos) y en la segunda se armó primero la placa de apoyo sobre la que se asienta el aislador, esta tiene un círculo en la mitad que sirve para colocar el hormigón al comienzo y el grout y tiene además cuatro círculos donde

van los pernos de anclaje del aislador. La placa debe estar completamente horizontal para que se asiente el aislador.




**a)** **b)**

**Figura 5** a) Placa inferior sobre pedestal en la que se apoya el aislador; b) Placa inferior de la columna, esta placa va sobre el aislador.




**a)** **b)**

**c)** **d)**

**Figura 6** a) Bloque 2 con aisladores sobre columnas y Bloque 1 con aisladores sobre pedestal de plinto; b) Placa en pedestal para unir viga de acero de acople de columnas de Hormigón; c) Detalle de la conexión de viga de acero a columna de hormigón, mediante una placa empernada al alma del perfil tipo “**I**”; d) Aislador sobre viga de acople y bajo viga de losa de aislación.

En la figura 5 b, se ve como llegaban a la obra las columnas de acero, venían con una placa inferior que tiene los cuatro pernos de anclaje del aislador. Antes de colocar la columna con la placa se sacan los pernos y luego se colocan estos pernos desde la parte superior del aislador.

## 2.2 Bloques Arquitectónicos 2 y 3 con aisladores

Entre el Bloque 1 y el 2 existe una diferencia de nivel de 5 m, ver figura 3. Por esto se optó por colocar los aisladores sobre las columnas del Bloque 2. La razón en cambio para tener los aisladores sobre columnas en el Bloque 3, fue que ahí funcionarán los laboratorios de Nanotecnología y son equipos altamente sensibles por lo que se decidió que estos se encuentren directamente en el suelo, más no sobre la losa de aislación.

En las figuras 6 a, y 6 b, se aprecia que los aisladores se han colocado sobre las columnas de hormigón armado, las mismas que deben trabajar en el rango elástico durante un terremoto, ya que si se dañan dejarán de funcionar los aisladores que están en la parte superior. Para que el aislador se encuentre sentado en toda su base fue necesario construir unas canastillas de mayor dimensión de los aisladores de 1.20 m, por 1.20 m. En la figura 6 b, también se observa la placa de acero que sobresale de la canastilla y que sirve para unir la viga de acople de las columnas, perpendicular a esta placa se fundió con el hormigón una placa de 1 cm, de espesor que se ve en la figura 6 c.

En la figura 6 d, se aprecia un aislador, sobre la canastilla y la columna de hormigón armado y bajo la columna de acero. A nivel de la canastilla se tiene una viga de acero con un perfil tipo "I" las mismas que sirven para unir todas las columnas de hormigón y de esta forma que trabajen en conjunto. Existen edificios (No en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE) en los cuales no han colocado esta viga de unión y otros en los cuales han colocado en forma alternada, pero es bueno que todas se unan.

La viga superior que tiene mayores dimensiones forma parte de la losa del primer piso alto y a la vez es la losa de aislación.

## 2.3 Bloques Arquitectónicos 1, 2 y 3 con aisladores

Para que los Bloques Arquitectónicos 1, 2 y 3, trabajen monolíticamente, se unió a partir de la losa de aislación y en los pisos superiores los Bloques indicados. Para el efecto, se mantuvo la misma sección de las vigas principales "I" y de las vigas secundarias; sobre estas vigas va la loseta de hormigón tipo Deck.

En la figura 7 a, se indica la unión en uno de los pisos superiores de los Bloques Arquitectónicos 1 y 2; se destaca que el acoplamiento se realiza en todos los pisos. En la figura 7 b, se presenta a manera de ejemplo diferente la unión de las losas de aislación de los Bloques 2 y 3, igual la unión se realiza en todos los pisos.

Al unir los Bloques 1, 2 y 3, se mejora notablemente el comportamiento de la estructura ante el efecto $P-\Delta$. Los aisladores se desplazan considerablemente con la estructura encima y adicionalmente existe un desplazamiento lateral de la

misma, que puede generar un momento de volcamiento que tiende a levantar a los aisladores. Con la solución tomada no sucederá esto.




**Figura 7** Acoplamiento de los Bloques Arquitectónicos 1, 2 y 3; a) Unión entre los Bloques 1 y 2 en pisos superiores manteniendo las mismas vigas principales y secundarias; b) Unión a nivel de losa de aislación de los Bloques 2 y 3.

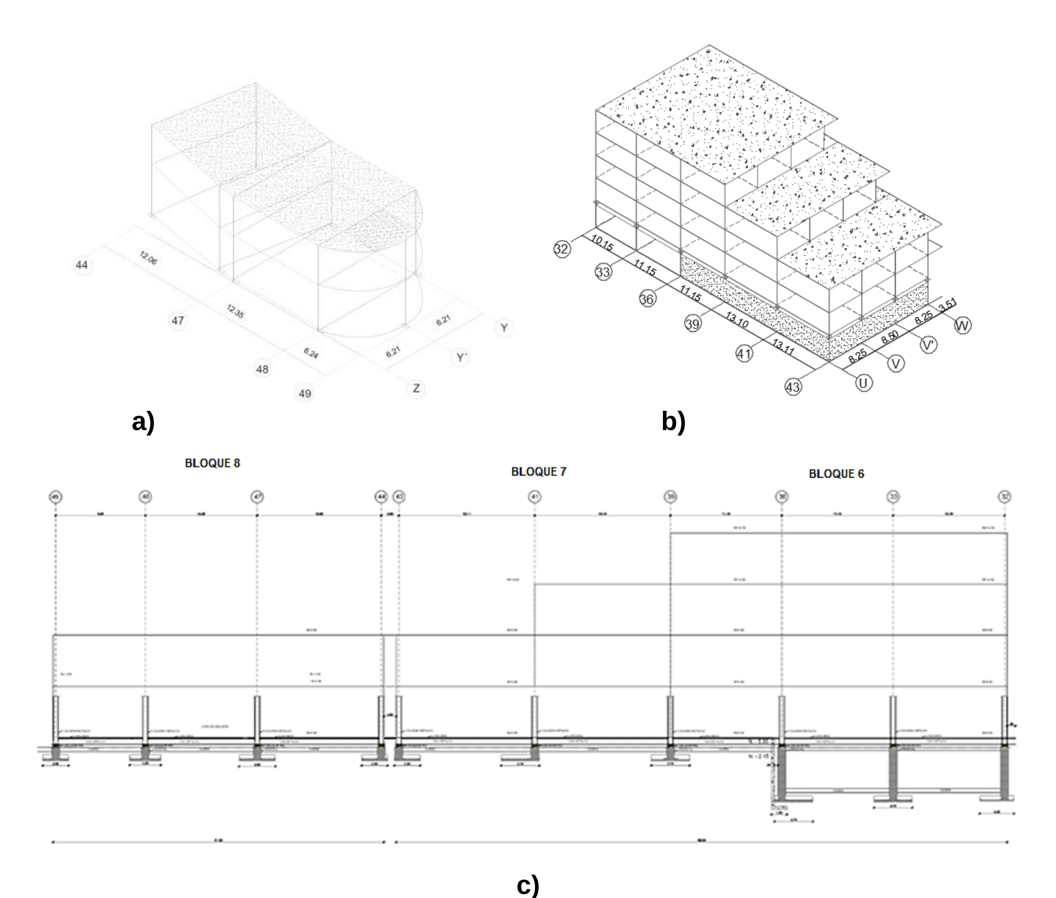



**Figura 8** Bloque Estructural Dos, compuesto por los Bloques Arquitectónicos: a) Ocho de dos pisos; b) Bloques 7 y 6; c) Vista del Bloque Estructural dos.

# 3 BLOQUE ESTRUCTURAL DOS CON AISLADORES

El Bloque Estructural dos, con aisladores sísmicos de triple péndulo de fricción, lo conforman los Bloques Arquitectónicos 6, 7 y 8, ver figuras 2 y 8.

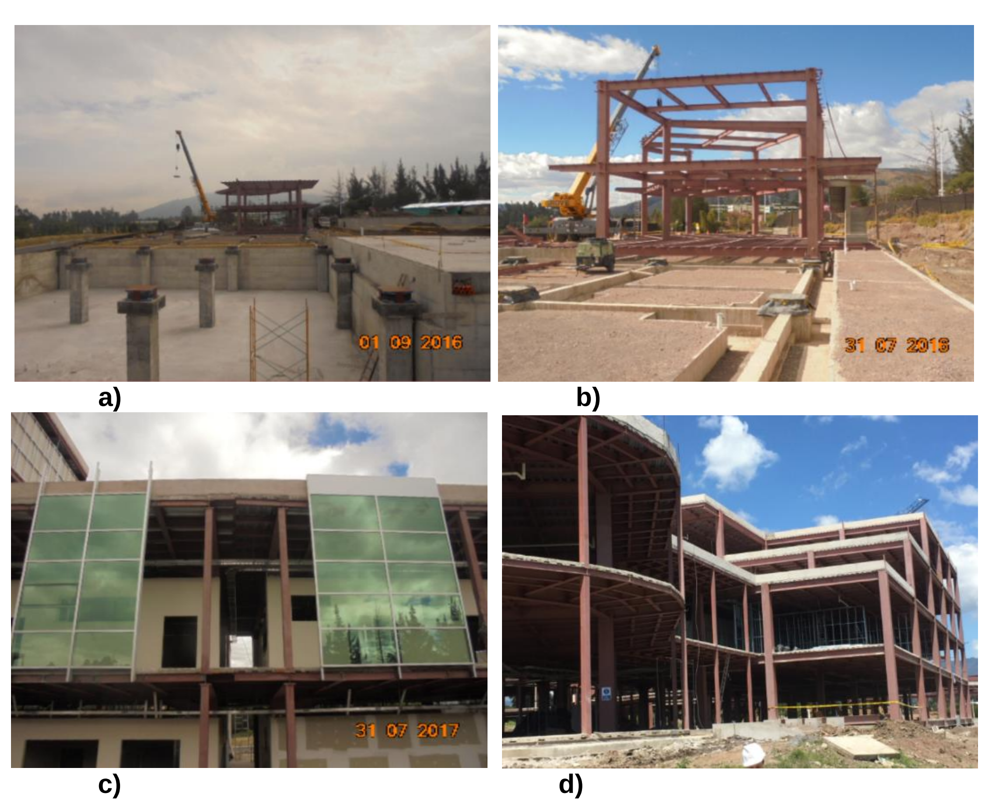



**Figura 9** a) Aisladores sísmicos sobre las columnas en el Bloque 6; b) Vista de los aisladores del Bloque 7 que se encuentran sobre pedestales de los plintos y al fondo se ve la estructura irregular del Bloque 8; c) Unión de los Bloques Arquitectónicos 7 y 8; d) Vista del Bloque 8, 7 y 6 que conforman el Bloque Estructural 2.

## 3.1 Bloque Arquitectónico Ocho

El Bloque 8 es de dos pisos, irregular en planta, con una curvatura; es el indicado en la figura 8 a, es de dos pisos, sus aisladores van sobre los pedestales que salen de los plintos (Igual que en el Bloque Arquitectónico 1). Se aprecia también a la izquierda de la figura 8 c. La parte curva que aparece en la figura 9 d, es el Bloque Arquitectónico 8.

A la derecha de la figura 10, se presentan los aisladores del Bloque Arquitectónico 8 y a la izquierda del Bloque Arquitectónico 7. El aislador que se halla en la parte extrema de la figura 10 (vértice del triángulo) fue el primero que se colocó en el Proyecto. Nótese que por la parte exterior se tiene una zanja que permitirá el libre movimiento de estos aisladores.

Por otra parte, con el propósito de ver el estado en que se encuentran durante la vida útil de la estructura, o eventualmente cambiarles se construyó una zanja interior. Algo similar se realizó en el Bloque Arquitectónico 1, donde los aisladores van sobre los pedestales de los plintos.

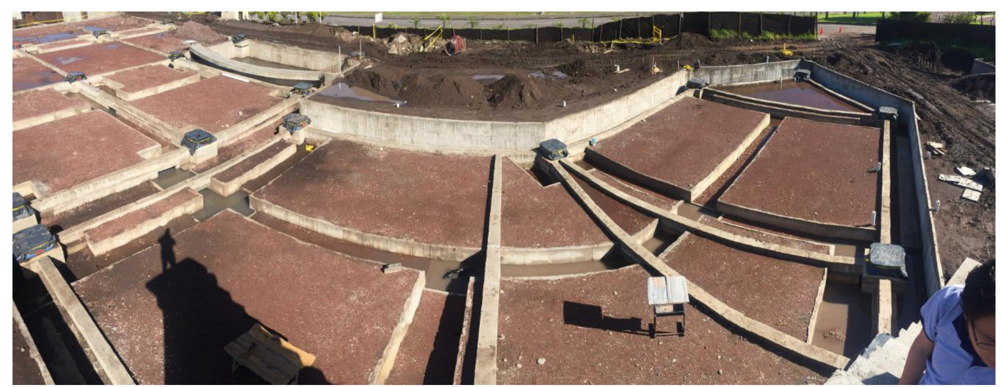


**Figura 10** Aisladores del Bloque Arquitectónico 8 a la derecha y del Bloque 7 a la izquierda que se encuentran sobre pedestales que nacen de los plintos. Se aprecia la zanja que se construyó para poder ingresar a los mismos y eventualmente darles mantenimiento o cambiar un aislador.

### 3.2 Bloques Arquitectónicos Siete y Seis

El Bloque Arquitectónico 7 se indica en las figuras 8 b y c; también aparece al inicio de la fotografía 9 b y en la parte intermedia de la figura 9 c; en la figura 10 se encuentran a la izquierda de la fotografía los aisladores sísmicos.

En el Bloque 7 funcionarán los Post Grados y en el Bloque 8, es para la parte Administrativa de los mismos.

En el Bloque 6 los aisladores se encuentran sobre las columnas de hormigón armado del primer piso, sobre una canastilla, igual que en los Bloques 2 y 3. Se lo observa en las figuras 8 b y c; en las figuras 9 a y c.

Los tres Bloques Arquitectónicos 6, 7 y 8, se encuentran unidos entre sí formando el Bloque Estructural Dos, con Aisladores Sísmicos de Triple Péndulo de Fricción (Ver figura 2 b). En la figura 9 c, se indica la unión de los Bloques Arquitectónicos 7 y 8, de paso se ve parte de la piel del Edificio (Fachadas solo con Vidrios), que va en todo el contorno de los Bloques Estructurales.

## 4 VEREDAS PERIMETRALES

Se diseñó una tapa especial de acero, para cubrir las zanjas que rodean a los aisladores sísmicos pero se decidió colocar unas vigas de acero, con una longitud, que están alrededor de los 3 m, las mismas que se ven en la figura 11 a, por el lado izquierdo se encuentran soldadas a las vigas principales que están en sentido ortogonal y por el otro lado también se soldó a una viga transversal que se encuentra en contacto con el suelo.

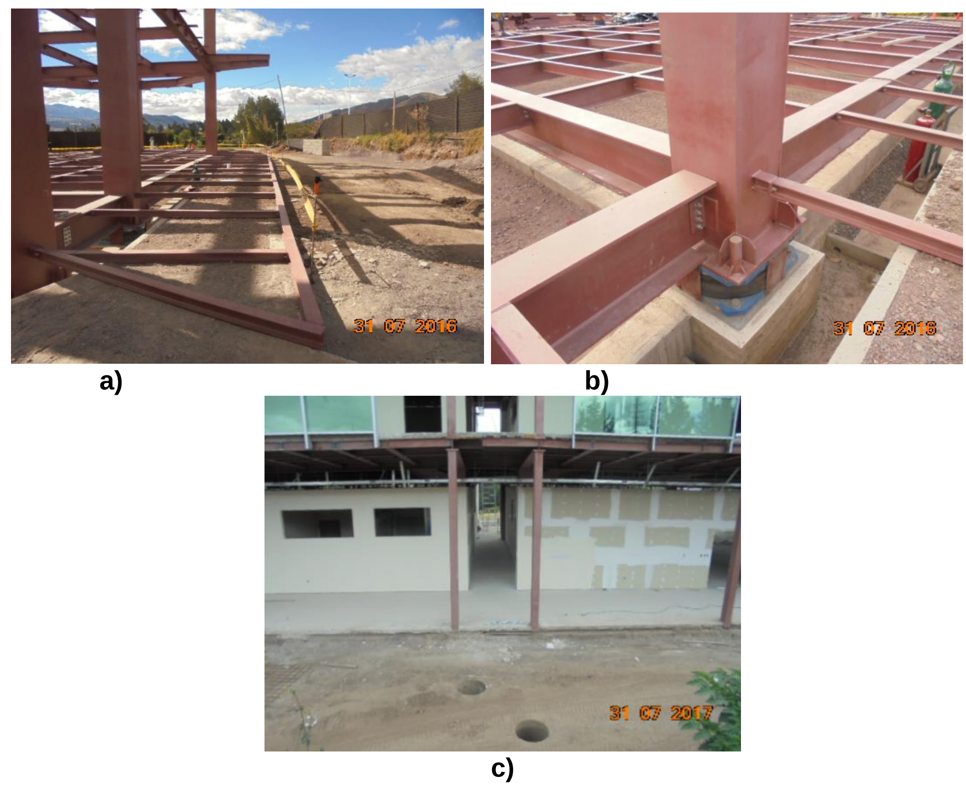



**Figura 11** Construcción de Veredas en Bloque Arquitectónico 8; a) Vista de aisladores, zanja perimetral y vigas de acero que formarán parte de la vereda; b) Aislador todavía con las placas verticales que deben ser removidas y vigas de vereda; c) Piso fundido de las veredas.

En la figura 11 b, se observa con claridad a un aislador; la columna y las vigas principales, se ve la zanja y la viga tipo “I” de la vereda. En la figura 11 c, ya se tiene la vereda con el hormigón. En la parte inferior de las alas se colocó placas de acero Deck, los respectivos conectores de corte y se fundió el hormigón.

En estas condiciones, se creó un apoyo que en estructuras se denomina “rodillo” que permite el desplazamiento horizontal. Lo cierto es que la vereda se encuentra apoyada sobre el suelo, que va a generar alguna fuerza de fricción durante un sismo, cuando esta se mueva. Lo ideal habría sido que la vereda quede en el aire, para ello se pudo construir una losa de 1.5 m, que trabaje en voladizo en el sector de los aisladores y un escalón que se apoya sobre el suelo para el tramo restante para llegar a los 3.0 m.

## 5 VOLADIZOS

Estructuralmente en los dos Bloques Estructurales con aisladores sísmicos se tienen voladizos que está alrededor de los 4 m, y 3 m, respectivamente, en uno de sus lados, ver figuras 12 a y 12 b, que corresponden al Bloque Arquitectónico 1. En la figura 12 b, se observa que la viga izquierda es de sección variable porque se trata de un voladizo pero en su extremo se halla apoyada en una

columna cuadrada de 20 cm, de lado. En la figura 12 c, se observa el apoyo inferior en la viga “I” que existe en el borde de la vereda y en la figura 12 d, se presenta el apoyo superior.

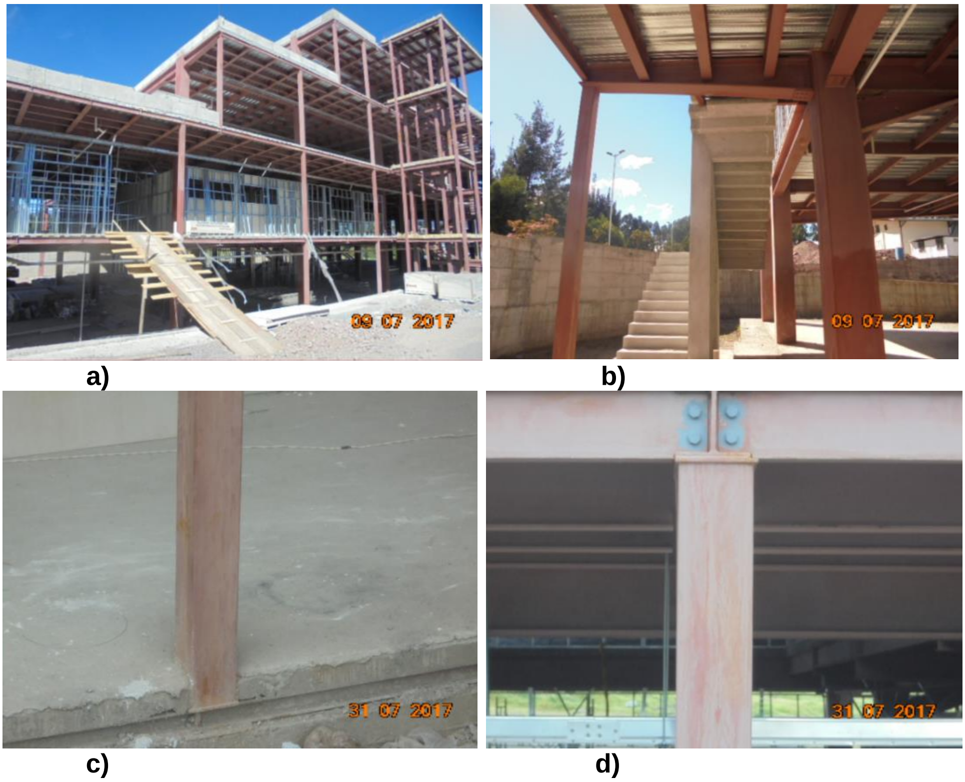



**Figura 12** Apoyos, bajo los voladizos; a) Bloque Arquitectónico 1; b) Viga principal de sección variable y columnas; c) Detalle de la columna de apoyo en el nudo inferior; d) Detalle del apoyo en el nudo superior.

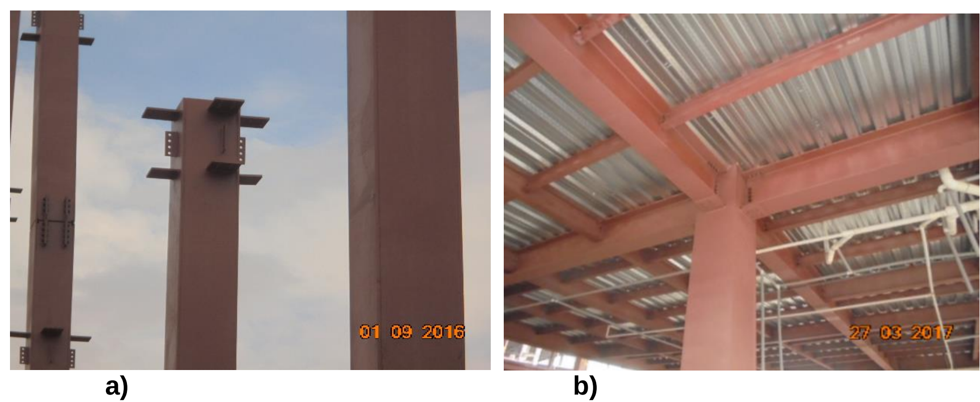
## 6 CONEXIÓN PRECALIFICADA

En las estructuras de acero, la conexión viga-columna es fundamental para el desempeño sísmico de una estructura, razón por la cual el Instituto Americano de Construcción de Acero (AISC por sus siglas en inglés) presenta el documento ANSI/AISC 358-16 que rige el diseño de las conexiones precalificadas.

En la versión de 2010, se contaba con 6 conexiones precalificadas y en la versión de 2016 se incrementaron 3 conexiones adicionales, teniendo a la fecha 9 conexiones viga-columna.

En la construcción de los Centros de Investigación y de Post Grado de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, se utilizaron dos conexiones, para la unión de columnas y vigas principales se trabajó con la conexión número 3, denominada BFP (Bolted Flange Plate) placas apernadas al ala y alma de los perfiles tipo “I”, que tienen las vigas. Para la conexión de las vigas secundarias a las vigas principales se trabajó con conexiones a corte, que son muy sencillas.

En la parte central de la figura 13 a, se ve una columna con dos placas horizontales y una placa vertical en los sitios donde van a insertarse la viga que son tipo “I”, las placas horizontales van en la parte exterior de las alas de la viga y se unen mediante pernos, y la placa vertical (de corte) se emperna al alma. En la figura 13 b, se muestra la conexión BFP terminada.




**a)** **b)**

**Figura 13** Conexión BFP (Bolted Flange Plate); a) Placas con que llegaban las columnas al Proyecto; b) Conexión Viga-Columna

En el terremoto de Ecuador de 2016, de magnitud 7.8, se observó el excelente comportamiento que tuvo la conexión BFP en el edificio de la Unidad de Vigilancia Comunitaria UVC de la ciudad de Manta, ninguna de sus uniones viga-columna fueron afectadas. Aguiar *et al.* (2016, 3). De tal manera que es una garantía utilizar conexiones precalificadas ya que han sido comprobadas mediante una extensa cantidad de ensayos de laboratorio y en el caso del edificio UVC, con un ensayo natural como es el terremoto. El diseño de una conexión BFP es bastante laborioso por lo que se recomienda utilizar programas de computación para ahorrar tiempo al Proyectista Estructural (Vielma, 2017; Pannillo y Abella, 2016).

Las vigas secundarias, terciarias y cuaternarias (restantes vigas que conforman un panel) se unieron a las vigas principales con uniones de corte (una placa vertical que tiene la viga y se une al alma de la viga “I”). Con todas estas vigas lo que se persigue es que la longitud no arriostrada este alrededor de 1 m, con lo que se evita que se desplace lateralmente la viga principal y que no pandee torsionalmente. Aguiar *et al.* (2017).

## 7 CARTELAS EN VIGAS

Los bloques estructurales tienen grandes luces, que están alrededor de los diez metros o más, por lo que se decidió diseñar con cartelas (pie de amigo) con lo que se rigidiza las vigas principales. En la figura 14 se presentan estos elementos, la sección transversal de estos perfiles tipo “I” de: 400 mm, de alto, 200 mm de ancho, 15 mm de espesor del ala y 12 mm de espesor del alma.



**Figura 14** Cartelas en Vigas colocadas en grandes luces.

En la parte inferior de la cartela va el cielo raso falso por lo que no serán vistos estos elementos estructurales que proporcionan gran rigidez horizontal y con esto se logra disminuir considerablemente el desplazamiento vertical en el centro de los vanos de la losa, que son considerables ya que se tienen luces que están alrededor de los 10 m, o más.

# 8 PLACA COLABORANTE STEEL DECK

Sobre las vigas se colocó una placa nervada que actúa como encofrado de la losa y además es su armadura inferior; en la parte superior se puso una malla ortogonal de acero que viene a ser la armadura a compresión de la losa, ver figura 15.




**Figura 15** Losa colaborante Deck, con malla de acero y conectores de corte.

Ahora bien, para que trabaje monolíticamente con las vigas de la estructura se tienen los conectores de corte que impiden el desplazamiento vertical y hacen que trabajen monolíticamente la losa de hormigón con la viga; los conectores se hallan colocados sobre las vigas principales y secundarias (ver a la izquierda de la figura 15) y en la parte inferior de la placa nervada (ver a la derecha de la figura 15). Luego de ello se colocó el hormigón, que tiene un espesor de 10 cm, y una resistencia a la compresión de 21 MPa. (Rodríguez, 2017). Se recuerda que el diámetro mínimo del conector es 19 mm, y no deben

haber más de 3 conectores en sentido transversal, en la figura se tiene 1. (AISC 360-2010)

En la construcción se empleó conectores espigo (stud) que es un perno sin rosca, con un vástago y una cabeza con dimensiones estandarizadas. En Barroso *et al.* (2017) se presenta un estudio experimental sobre los conectores de corte.

# 9 PAREDES DE GYPSUM

En el terremoto de Ecuador de 2016, de magnitud 7.8, quedó de manifiesto que la mampostería de bloque o ladrillo es explosiva; hubo demasiado daño a tal punto que algunos investigadores a este sismo lo han denominado "El sismo de la mampostería".

En contraste a este mal comportamiento se vio que las paredes construidas con Gypsum, tuvieron un gran desempeño, no se observó daño. Por este motivo en la reconstrucción de algunos edificios de la ciudad de Manta se cambió de material se bloque a Gypsum. (Edificio Buzios de 16 pisos, Edificio Fortaleza de 9 pisos).

El Gypsum tiene un peso que está alrededor de los $40\,kg/m^2$, en contraste con las paredes de bloque que están por los $200\,kg/m^2$. De tal manera que se pasa de una pared rígida y pesada a una pared liviana y flexible. Filiatrault (2015)

Todas las paredes de los Centros de Investigación y de Post Grado de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, son de Gypsum. Una de ellas es la que se observa en la figura 16 en que se aprecia, la armadura central que es de tol. Las paredes no llegan hasta las vigas sino hasta la parte inferior de las cartelas de acero ya que a esa altura va el cielo raso falso pero están sujetas a las vigas secundarias con el mismo material, como se observa a la derecha de la figura 16.



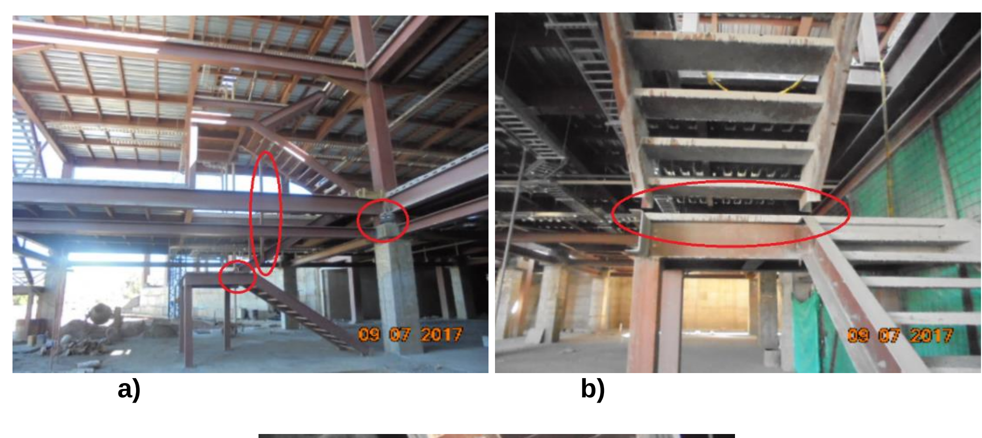

**Figura 16** Estructura interior de las paredes de Gypsum.

Se observa en la figura 16, que para evitar el problema de pandeo en los elementos verticales, se colocó elementos horizontales con lo que se reduce la longitud de pandeo.

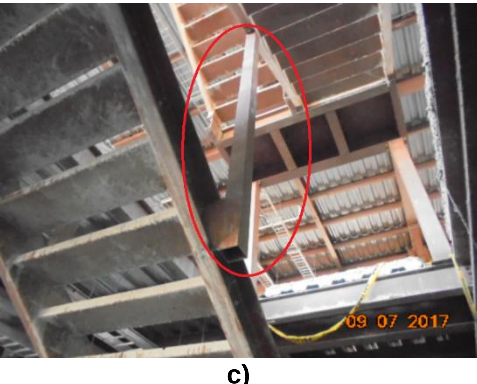
Los cables para la electricidad y para los equipos de computación van en la parte interior del Gypsum, al igual que las tuberías de agua. La estructura de tol, tiene perforaciones que permite pasar estos materiales.

## 10 DETALLES CONSTRUCTIVOS EN GRADAS

Si los aisladores se encontrarán sobre la cimentación, no habría nada que explicar sobre los detalles constructivos de la grada, pero al tener los aisladores sobre las columnas del primer piso, sí, debido a que el piso inferior (sub estructura) se va a desplazar poco, en cambio el piso superior que está sobre aisladores (superestructura) se desplaza bastante.




**a)** **b)**




**c)**

**Figura 17** Grada Interior; a) Detalles desde la izquierda: grada discontinua, sostenimiento de grada y aislador; b) Discontinuidad de la grada; c) Elemento vertical que mantiene la posición de las vigas de la grada suspendida y le sostiene.

El primer tramo de la grada, ver figura 17, hasta el descanso se construye en la forma tradicional, pero el siguiente tramo de grada se encuentra separado (figura 17 a y b). Entonces al estar separado el tramo de grada que está en la

subestructura se halla suspendida de las vigas laterales y estas a su vez de las vigas del primer tramo de la grada superior, mediante unos elementos verticales tubulares de sección cuadrada (Detalle central que se indica en la figura 17 a y c)

En resumen se debe separar el primer tramo de grada de la sub estructura del resto de la grada; en un sismo el tramo suspendido de grada se desplazará igual que la losa de aislación (losa superior).

Otro detalle, se tiene en la grada de emergencia, que se encuentra en la parte exterior y que no se encuentra con aisladores. En este contexto se tiene la unión de una grada que no aislada a una estructura con aisladores sísmicos y la complejidad es mayor debido a que los aisladores se hallan sobre las columnas del primer piso.

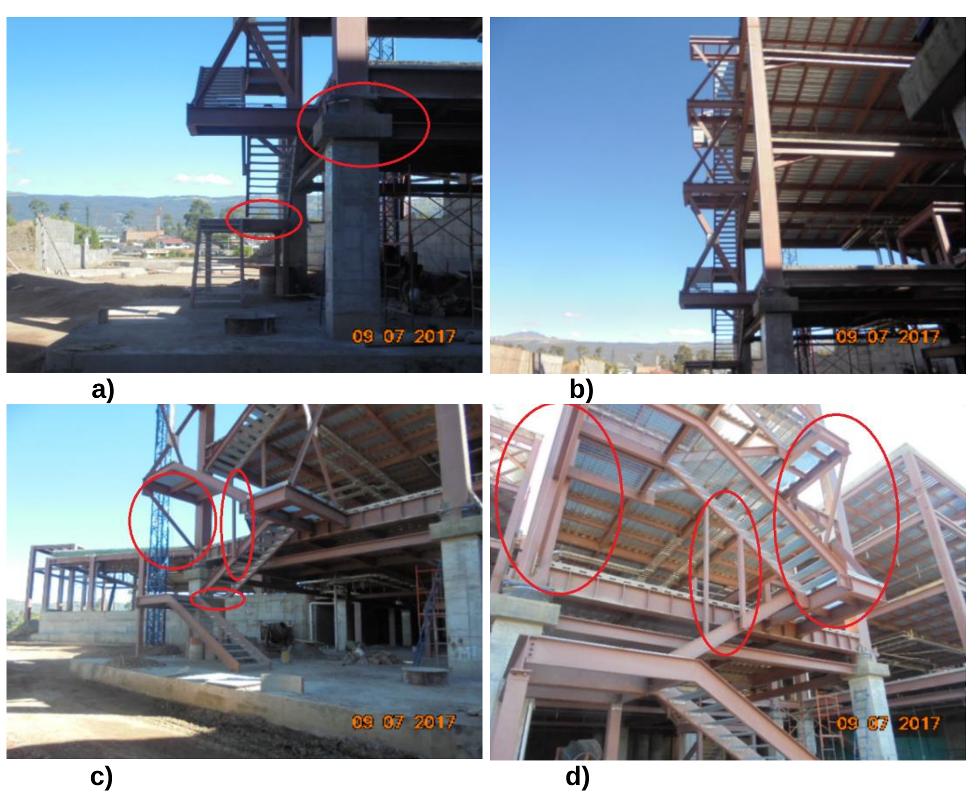



**Figura 18** Construcción de una grada de emergencia; a) Discontinuidad de la grada y aislador sísmico; b) Diagonales unidas a los nudos y vigas para soportar la grada; c) Diagonal, separación de la grada y elemento vertical que sostiene la grada; d) Diagonales y elementos verticales.

La solución dada, es similar a la anterior, en el sentido de que se construyó el primer tramo de grada (que no está aislado) en la forma tradicional cómo se observa en la figura 18 a, con cimentación apoyada directamente en el suelo. En el primer descanso existe una discontinuidad para que la base de la grada se mueva de acuerdo al movimiento del suelo y el segundo tramo del primer piso se encuentra sostenido por las vigas del primer descanso de grada.

Nótese la diferencia en el tamaño de la viga de la grada, la del primer tramo tiene menores dimensiones y está apoyada sobre columnas; en cambio las del segundo tramo tienen mayores dimensiones y aparentemente se encuentra en voladizo unidas a la viga principal del bloque con aisladores sísmicos. Es aparente ya que los voladizos se hallan sujetos con diagonales tubulares que van al nudo y viga principal de estructura con aisladores, ver figura 18 b.

Por un lado, los voladizos están sujetos a la estructura por diagonales que trabajan a tensión pero por otra parte las diagonales en sentido contrario, trabajan a compresión y ayudan a sostener el voladizo (descanso de las gradas), ver figura 18 c y d.

Nuevamente, la parte que está descolgada del primer tramo de grada se sostiene por las vigas inclinadas y estas a su vez por los elementos verticales.

## 11 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

En Aguiar y Pazmiño, (2016), se publicó la primera parte de la construcción de los nuevos bloques estructurales, donde funcionarán los Centros de Investigación y de Post Grado, de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE y respondía a los que se había construido a Junio de 2016. A pasado un poco más de un año y era necesario publicar el avance de la construcción.

En este artículo solo se ha presentado algunos detalles constructivos de los Bloques Estructurales que tienen aisladores sísmicos, no se lo ha realizado de los dos Bloques Estructurales con disipadores de energía, ya que en un futuro cercano se escribirá al respecto.

En el Ecuador, después del terremoto de 2016, se están construyendo y se construirán estructuras con aisladores sísmicos, por lo que el autor del artículo consideró importante presentar las experiencias que se tuvo en la construcción de los Bloques Estructurales con aisladores sísmicos, en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, para así aportar al desarrollo de la Ingeniería Sísmica.

## REFERENCIAS

1. Aguiar R., (2017), “No se acepta el diseño por ductilidad. Caso del Edificio Fragata que incursionó en el rango no lineal”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **22, 3,** 327-391. DOI:10.13140/RG.2.2.35416.60164.
2. Aguiar R., Vielma J.C., y Mora D., (2017), “Diseño y análisis de vigas de acero con sección tipo I”, *Revista Ciencia,* **19, 2,** 287-309. Disponible en http://revista_ciencia.espe.edu.ec
3. Aguiar R., Morales E., Guaygua B., López E., Tipanluisa E., (2016,1), “Cálculo de la torsión en aisladores FPT en el análisis simplificado lineal y en el espectral. Aplicación al Bloque tres del Centro de Investigaciones de la UFA-ESPE”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **21 (1),** 27-43. Disponible en: http://www.riie.espe.edu.ec

4. Aguiar R., Morales E., (2016,2), "Desempeño del aislador FPT8833/12-12/8-6 empleado en la construcción del Centro de Investigaciones de UFA-ESPE mediante análisis no lineal", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **21 (1),** 79-104. Disponible en: http://www.riie.espe.edu.ec
5. Aguiar R., Zevallos M., Palacios J., García L., Menéndez E., (2016,3), *Reforzamiento de estructuras con disipadores de energía. Terremoto de Ecuador del 16 de abril de 2016,* Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH, 283 p. Portoviejo, Ecuador.
6. Aguiar R. Pazmiño E., (2016), "Detalles constructivos debido a los aisladores sísmicos en las construcciones de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, en Ecuador", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **21 (2),** 217-256. Disponible en: http://www.riie.espe.edu.ec
7. AISC (2016), Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, ANSI/AISC 358. Chicago: AISC.
8. AISC (2010), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 341. Chicago: AISC.
9. AISC 360-10. (2010). *Specification for Structural Steel Buildings.* Chicago: American Institute of Steel Construction.
10. Barroso M., Medina C., Medina S., (2017), "Influencia de los conectores de cortante en la unión viga de hormigón y losa compuesta", *Revista Ciencia,* **19, 4,** 341-358. Disponible en: http://revista_ciencia.espe.edu.ec
11. Constantinou M., Aguiar R., Morales E., Caiza P., (2016), "Desempeño del aislador FPT8833/12-12/8-5 en el análisis sísmico del Centro de Investigaciones y de Post Grado de la UFA-ESPE", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **21 (1),** 1-25 Disponible en: http://www.riie.espe.edu.ec
12. Filiatrault A., (2015), *Seismic design and analysis of nonstructural components, Chapter 5 Seismic performance of cold-formed steel framed Gypsum partition walls.* Material entregado en el XX Curso Internacional de Estructuras realizado en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, en Ecuador.
13. Rodríguez M., (2017), *Información suministrada por internet,* Miembro del Equipo de Fiscalización de la Construcción de los edificios donde funcionarán los Centros de Investigación y de Post Grado en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE. Innovativa.
14. Vielma J. C., (2017) Conexión Precalificada Placas apernadas en el ala y alma, *Primer Minicurso Internacional de Estructuras,* Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.
15. Pannillo G., Abella C., (2017), "Bolted Flange Plate (BFP) Momento Connection-ANSI/AISC 358-16", *Programas desarrollados en EXCEL.*